บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญของส้ม

ส้มเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งของโลก มีพื้นที่เพาะปลูกตามภูมิภาคต่างๆ ของโลก เช่น ประเทศบราซิล สหรัฐอเมริกา ประเทศแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียน จีน และญี่ปุ่น เป็นต้น สำหรับประเทศไทย พื้นที่เพาะปลูกส้มเขียวหวานมีทั้งหมด 185,000 ไร่ (ถึงเดือนพฤษภาคม 2546) ผลผลิตรวม 283,000 ตัน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2546) เฉพาะที่จังหวัดเชียงใหม่มีพื้นที่เพาะปลูกส้มเขียวหวานทั้งหมด 35,752 ไร่ ผลผลิตรวม 114,195 ตัน (สำนักงานเกษตรจังหวัดเชียงใหม่, 2546) หรือคิดเป็น 40% ของผลผลิตรวมทั้งประเทศ ข้อมูลการส่งออกผลส้มเขียวหวานสดปี 2544 ระบุว่ามีปริมาณ 478 ตัน คิดเป็นมูลค่า 8.32 ล้านบาท ซึ่งสูงกว่าปี 2543 ที่มีปริมาณ 369 ตัน มูลค่า 5.18 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2546) ฉะนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าส้มเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่มีบทบาทและมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย

2.2 ความเป็นมาและการจำแนกกลุ่มพืชตระกูลส้ม

ส้มเขียวหวาน (*Citrus reticulata* Blunco) มีชื่อสามัญว่า Mandarin หรือ Tangerine จัดเป็นผลไม้เขตกึ่งร้อน (Subtropical fruit) มีถิ่นกำเนิดอยู่แถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Salunkhe and Desai, 1984) มีบันทึกการเพาะปลูกส้มในประเทศจีนเมื่อ 2200 ปีก่อนคริสตกาล และมีหนังสือเกี่ยวกับส้มเป็นภาษาจีนปรากฏในค.ศ. 1178 การเพาะปลูกส้มได้มีการกระจายจากเอเชียตะวันออกและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ไปสู่ตะวันออกกลางโดยพ่อค้าชาวอาหรับ แล้วขยายต่อไปยังยุโรปใต้ หลังจากนั้นนักเดินเรือและนักล่าอาณานิคมชาวยุโรปได้นำพันธุ์ส้มต่างๆ ไปเพาะปลูกตามหมู่เกาะแถบทะเลแคริเบียน ดินแดนอเมริกาใต้ อเมริกาเหนือ ตลอดจนที่ต่างๆ ทั่วโลก (Morley-Bunker, 1999) ปัจจุบันพืชตระกูลส้มซึ่งเป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Rutaceae สามารถปลูกได้ดีทั้งในเขตร้อนและเขตกึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ร้อน โดยสามารถจำแนกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ (เปรมปรี, 2538; Davies and Albrigo, 1997; Murata, 1997; Baldwin, 1993) ดังนี้

2.2.1 กลุ่มส้มเกลี้ยงและส้มตรา (Oranges group: *Citrus sinensis*)

ส้มกลุ่มนี้นิยมปลูกเพื่อรับประทานสดหรือใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปต่างๆ เช่น การคั้นน้ำเพื่อทำน้ำส้มหรือน้ำส้มเข้มข้น ส่วนเปลือกใช้ทำแยมผิวส้ม (Marmalade) เป็นต้น ลักษณะสำคัญของส้มกลุ่มนี้คือ เปลือกไม่ล่อนออกจากเนื้อ กลีบส้มแต่ละกลีบติดกันแน่น ทำให้การแกะเปลือกออกจากเนื้อและการแยกกลีบออกจากกันได้ยาก ส้มกลุ่มนี้ยังสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยได้ดังนี้

1) ส้มที่มีรสหวาน (Sweet orange: *C. sinensis*) พันธุ์ที่ปลูกมากในแถบเมดิเตอเรเนียน เช่น ชามูติ (Shamouti), วาเลนเซีย (Valencia) ส่วนส้มเนเวล (Navel orange) ได้แก่ พันธุ์วอชิงตันเนเวล สำหรับในประเทศไทยส้มกลุ่มนี้ได้แก่ส้มตราหรือส้มเช้ง

2) ส้มที่มีรสเปรี้ยวหรือรสออกขม (Sour or bitter orange: *C. aurantium*) ส้มกลุ่มนี้มีถิ่นกำเนิดทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของอินเดีย เป็นส้มที่มีรสเปรี้ยวจัด ขนาดผลโตกว่าส้มเขียวหวาน มีเมล็ดมาก สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น ทำน้ำส้มคั้น ทำแยมผิวส้ม หรือ สะกัดน้ำมันหอมระเหย พันธุ์ที่ปลูกเป็นการค้า ได้แก่ รูบี้บลัด (Ruby blood) โดเบิลฟินา (Doblefina) และ โมโร (Moro)

2.2.2 กลุ่มส้มจีนและส้มเขียวหวาน (Mandarine and Tangerine group: *Citrus reticulata*)

ส้มกลุ่มนี้มีถิ่นกำเนิดทางประเทศจีน ปลูกกันมากในประเทศแถบเอเชียตะวันออกและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น จีน ญี่ปุ่น ไต้หวัน ไทย เป็นต้น ลักษณะสำคัญของส้มกลุ่มนี้คือ เปลือกอ่อนและล่อน แกะออกง่าย กลีบส้มสามารถแยกออกจากกันได้ง่าย ส้มจีนและส้มเขียวหวานมีลักษณะแตกต่างกันคือ ส้มจีน (Mandarin) ผลโตกว่าส้มเขียวหวาน (Tangerine) เปลือกค่อนข้างหนาและขรุขระกว่า ใส้ผลกลวง ผลและเนื้อมีสีเข้ม โดยส้มกลุ่มนี้มีหลายสายพันธุ์ ได้แก่ ซัทซูมา (Satsuma), คิง (King) ส่วนส้ม Common ได้แก่ ส้มจีน (Pongan), แดนซี่ (Dancy) และ ฟรีมองต์ (Fremont) เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.3 กลุ่มส้มโอและเกรฟฟรุ้ท (Pomeloes and Grapefruits group) แบ่งได้เป็น

1) ส้มโอ (Pomelo: *C. grandis*) เป็นส้มที่มีผลโตกว่ากลุ่มอื่น ทรงผลมีหลายลักษณะ เช่น ทรงกลม ทรงแป้น มีจุก และไม่มีจุก เปลือกหนา แต่ทั้งเปลือกและกลีบสามารถแยกออกจาก

กันได้ง่ายกว่ากลุ่มส้มเกลี้ยงและส้มตรา ลักษณะเนื้อภายในมีหลายสี เช่น สีขาว สีชมพู และสีทับทิม เป็นต้น

2) เกรฟฟรุ้ท (Grapefruit: *C. paradisi*) ลักษณะคล้ายส้มโอแต่ผลเล็กกว่า ทรงผลมีลักษณะกลมแป้น เปลือกบาง กลีบไม่แยกจากกัน มีทั้งพันธุ์ที่มีเมล็ดและไม่มีเมล็ด เนื้อภายในมีทั้งสีขาวและสีชมพู

2.2.4 กลุ่มมะนาว (Common acid members group)

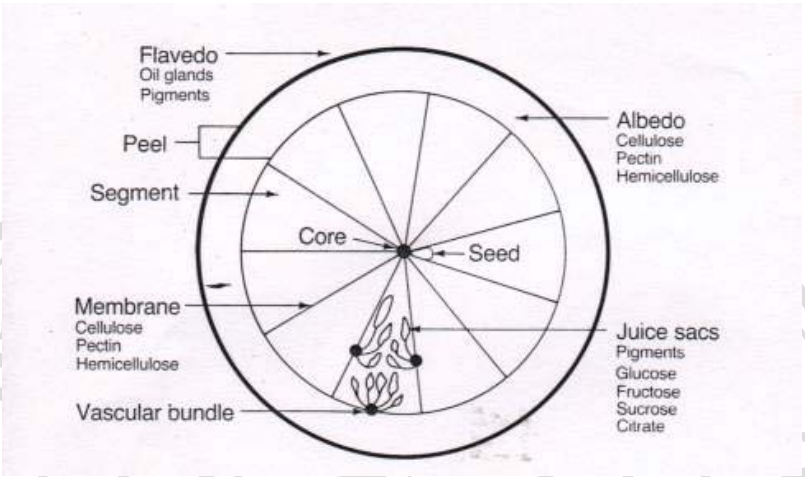
ได้แก่ ซิตรอน (Citron: *C. medica*), มะนาวฝรั่ง (Lemon: *C. limon*) และ มะนาวไทย (Lime: *C. aurantifolia*) เป็นต้น

2.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของส้มเขียวหวาน

ส้มเขียวหวานมีทรงต้นสูงประมาณ 2-8 เมตร ทรงพุ่มมีลักษณะแน่นทึบ จัดเป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก ลำต้นไม่มีหนาม กิ่งแก่มีสีเขียวเข้ม ลักษณะกิ่งอ่อนเป็นเหลี่ยมเรียว ใบรูปไข่ค่อนข้างยาว รูปโล่ห์หรือรูปหอก ปลายและฐานใบมีลักษณะมน ส่วนปลายสุดของใบมีรอยเว้าเข้า ผิวท้องใบมีสีเขียวอมเหลือง ผิวหลังใบเป็นมันสีเขียวเข้ม ผลเป็นทรงแป้น ผิวเปลือกสีเขียวอมเหลืองหรือส้มอมเหลืองจนถึงแดงอมส้ม ผิวเปลือกเรียบ ซึ่งภายในมีต่อมน้ำมันและมีกลิ่นหอมแรง เปลือกด้านในมีสีเหลืองอ่อน เนื้อมีน้ำมาก สีส้ม รสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย

ลักษณะทางกายภาพของส้ม เป็นผลแบบเบอร์รี่ชนิดพิเศษที่เรียกว่า Hesperidium (ดังแสดงในรูป 2.1) ส่วนของเปลือกผลที่หุ้มอยู่ แบ่งได้ 3 ชั้น คือ ชั้นนอกสุด (Exocarp: flavedo) มีสีเขียวเนื่องจากรงควัตถุคลอโรฟิลล์ เมื่อผลแก่สีผิวจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือสีส้มเนื่องจากรงควัตถุแคโรทีนอยด์ ถัดมาคือเปลือกชั้นกลาง (Mesocarp: albedo) ซึ่งไม่มีสี เป็นส่วนที่ประกอบด้วยเพคติน ไกลโคไซด์ วิตามินซี และน้ำตาล ด้านในสุดคือเปลือกชั้นใน (Endocarp: rag) เป็นเยื่อโปร่งใสหุ้มรอบช่องรังไข่หรือกลีบผลส้มเห็นเป็นขนจากผนังชั้นในของช่องรังไข่จำนวนมากและมีน้ำบรรจุอยู่ภายในนั้นเปลือกชั้นในมีลักษณะเป็นถุงน้ำ (Pulp vesicles) เรียกว่า กุ้ง (Juice sac) ภายในกุ้งมีของเหลวซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลและกรดซิตริกเป็นส่วนใหญ่โดยส่วนนี้เป็นส่วนที่รับประทานได้ (Baldwin, 1993)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.1 แผนผังแสดงภาคตัดขวางของผลส้ม

ที่มา: Bain (1958)

ผลส้มมีการเจริญแบบ Sigmoid curve แบ่งได้ 3 ระยะ (Bain, 1958; Ting and Attaway, 1971) คือ ระยะที่ 1 ระยะแบ่งเซลล์ (cell divition) เป็นระยะที่ขนาดและน้ำหนักของผลส้มมีค่าเพิ่มขึ้นในเวลา 1 ถึง 1.5 เดือนหลังดอกบาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และพันธุ์ เมื่อเข้าสู่ระยะที่ 2 เป็นระยะขยายขนาดของเซลล์ทั้งในส่วนเนื้อและเปลือกผล เปลือกเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง ต่อมาถึงระยะที่ 3 เป็นระยะผลแก่ เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในผล เช่น ของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solid, TSS) จะเพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (Titratable acidity, TA) มีค่าลดลง ผลส้มแก่สามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุ 9 ถึง 10 เดือน หรือสังเกตจากสีผิวของส้มที่เริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง (สุรชัย, 2535)

2.4 การเก็บเกี่ยวผลส้ม

ส้มเป็นผลไม้จำพวก Non-climacteric (Wills *et al.*, 1998) คือ ไม่สามารถสุกได้เมื่อเก็บเกี่ยวมาจากต้นแล้ว มีอัตราการหายใจหลังการเก็บเกี่ยวต่ำ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีเกิดขึ้นอย่างช้าๆ (Ting and Attaway, 1971) เนื่องจากส้มไม่สะสมแป้งเหมือนผลไม้จำพวก Climacteric จึงไม่สะสมน้ำตาลเพิ่มขึ้นหลังจากเก็บเกี่ยวมาแล้ว การเก็บเกี่ยวกระทำเมื่อถึงระยะผลแก่เต็มที่ (mature) เพราะจะมีคุณภาพดีเหมาะสำหรับการบริโภค แต่หากเก็บเกี่ยวมาก่อน ผลจะยังอ่อนและมีรสเปรี้ยว (ดนัย, 2545) เมื่อผลส้มเริ่มสุกแก่ น้ำตาลจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อถึงระยะก่อนผลแก่เต็มที่ อัตราการเพิ่มของน้ำตาลจะลดลง (Leopold and Kriedemann, 1975) ส่วนกรดก็จะมีปริมาณลดลง การเก็บเกี่ยวไม่ควรกระทำหลังฝนตกหรือหลังการให้น้ำแบบฉีดพ่น ซึ่งผลยังเปียกน้ำอยู่ ทำให้เซลล์ผิวมีความเต่งกว่าปกติและมีความอ่อนไหวต่อการเกิดแผล นอกจากนั้นต่อมน้ำมันที่เปลือกยังแตกง่ายทำให้เกิดตำหนิที่ผิวและง่ายต่อการแพร่ระบาดของโรคหลังการเก็บเกี่ยว

2.4.1 ดัชนีการเก็บเกี่ยว

ดัชนีการเก็บเกี่ยวที่ดีควรเป็นดัชนีที่นำมาตรวจสอบผลส้มได้ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ไม่ต้องทำลายผลิตผล ใช้อุปกรณ์ที่สามารถทำให้เก็บเกี่ยวได้รวดเร็วและราคาไม่แพง โดยพิจารณาจาก

1) การนับอายุ จากระยะออกดอกถึงดอกบานประมาณ 1 เดือน และจากระยะจากดอกบานถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 8-9 เดือน ในส้มพันธุ์ฟรีมองค์ (มงคล, 2526) สำหรับส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งจะมีอายุประมาณ 10-11 เดือน ส่วนส้มเขียวหวานประมาณ 10 เดือน โดยเริ่มออกดอกในเดือนกุมภาพันธ์และเก็บเกี่ยวในเดือนธันวาคม (นิวัตร์, 2538)

2) การวัดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น ความต้านทานแรงกดของผลลดลง (Baldwin, 1993) และปริมาณน้ำคั้นสำหรับส้มเขียวหวานซึ่งมีค่าประมาณ 43.1-42.3% (มนตรี, 2527)

3) การวัดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยใช้วิธีการและเครื่องมือเช่น การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solid, TSS) ด้วยเครื่อง Refractometer การวัดปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (Titratable acidity, TA) และการคำนวณอัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เทียบกับปริมาณกรดที่สามารถไตเตรตได้ (Total soluble solid/Titratable acidity ratio; TSS/TA) ซึ่งอัตราส่วนที่จัดว่าส้มแก่แล้วควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 6.5 สำหรับส้มกลุ่มส้มเขียวหวานที่ปลูกในประเทศไทย (ดนัย, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.2 วิธีการเก็บเกี่ยว

วิธีการเก็บเกี่ยวผลส้มเขียวหวาน มี 2 วิธี คือ

1) การใช้แรงงานคน โดยปลิดขั้วผล หรือใช้กรรไกรตัด ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กับผลส้มเขียวหวาน การปลิดผลด้วยมือเปล่าจะเก็บเกี่ยวผลได้เร็วขึ้นแต่มีผลเสียหายมากกว่าการใช้กรรไกรตัด ภาชนะที่ใช้ใส่ผลส้มเป็นตะกร้าหรือถุงย่ามผ้าใบชนิดหนา หรือเป็นการตัดผลส้มใส่ในถุงย่ามผ้าใบซึ่งผูกติดไปกับเกษตรกรก่อน จากนั้นจึงจะลำเลียงไปใส่ในตะกร้า (ดนัย, 2545)

2) การใช้เครื่องทุ่นแรง ส่วนใหญ่พบในต่างประเทศ เช่น ที่มลรัฐแคลิอร์เนียและมลรัฐฟลอริดาของสหรัฐอเมริกา อิสราเอล และ ออสเตรเลีย เป็นต้น โดยใช้เครื่องเขย่ากิ่ง เครื่องเป่า และการใช้สารเคมีฉีดพ่นให้ผลร่วง เช่น กรดแอสคอร์บิก กรดน้ำส้ม เป็นต้น

2.5 ความผิดปกติทางสรีรวิทยาของผลส้ม

ลักษณะอาการของต้นพืชหรือส่วนต่างๆ ที่เจริญเติบโตไม่เป็นไปตามลักษณะที่ควรจะเป็นและไม่ได้เกิดจากศัตรูพืชทั้งโรคหรือแมลง ลักษณะที่ผิดปกติอาจเกิดจากสภาพของภูมิอากาศ ดิน น้ำ หรือ ธาตุอาหาร หรืออาจไม่ทราบสาเหตุที่แท้จริงแต่ผลที่ปรากฏ คือ ต้นพืชหรือส่วนใดส่วนหนึ่งแสดงอาการไม่ปกติออกมาซึ่งลักษณะเช่นนี้เรียกว่าอาการผิดปกติทางสรีรวิทยา (Physiological disorders) อาการผิดปกติในผลส้มที่มีการศึกษาอย่างกว้างขวางและเป็นต้นแบบของพืชอื่นคือ อาการขาดธาตุอาหาร (Nutrient deficiency symptoms) นอกจากนี้ยังมีอาการอื่นอีกหลายลักษณะ เช่น อาการฟ่ามภายในผล อาการผิวลาย อาการแดดเผา อาการผลแตก และ อาการผลพอง เป็นต้น โดยรายละเอียดของอาการผิดปกติทางสรีรวิทยามีดังต่อไปนี้

2.5.1 อาการผลฟ่าม (Granulation)

อาการฟ่ามในผลของพืชตระกูลส้ม มีหลายลักษณะ เช่น ฟ่ามแห้ง ฟ่ามไต หรือ เกิดทั้งสองลักษณะในผลเดียวกัน (Burns and Achor, 1989) พบมากในส้มฟรีมองต์ (Snowdon, 1990) อาการฟ่ามไตเป็นลักษณะที่ Juice sac มีสีขาวขุ่นและแห้ง

2.5.2 อาการผลพอง (Puffiness)

อาการผลพอง (Puffiness) ของส้ม คือ ส่วนของเปลือกแยกตัวออกจากส่วนเนื้อเกิดเป็นช่องว่างระหว่างเปลือกกับผล ส่วนเนื้อสามารถแยกออกจากส่วนเปลือกได้ง่ายโดยมักพบในผลส้มที่แก่จัด ซึ่งเมื่อผลส้มพัฒนาเข้าสู่ระยะแก่จัด การเจริญของส่วนเนื้อได้หยุดลงในขณะที่ปริมาตรของผลยังเพิ่มขึ้นจึงนำไปสู่การแยกตัวออกจากกันระหว่างเปลือกและเนื้อที่จะมีขนาดกว้างขึ้นและเกิดเป็นช่องอากาศในที่สุด (Spiegel-Roy and Goldschmidt, 1996) อาการผลพองยังพบได้เมื่อมีการเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคม เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในช่วงเวลาดังกล่าวนั้นลดต่ำลงผลส้มจึงปรับตัวเพื่อลดอัตราการสูญเสียน้ำ สำหรับช่วงเวลาอื่นมักไม่พบลักษณะอาการดังกล่าว ความเสียหายจากอาการผลพองคือผลส้มแตกง่ายจากการกระแทกหรือเบียดกัน (รวี, 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.3 อาการผลแตก (Fruit cracking)

ลักษณะของอาการผลแตกคือ ผลแตกในขณะที่ยังอ่อนอยู่ซึ่งพบในส้มพันธุ์ที่มีเปลือกบาง เช่น ส้มเขียวหวาน อาการดังกล่าวอาจรุนแรงมากในบางพื้นที่เพาะปลูก หรือเฉพาะบางส่วนหรือบางช่วงเวลาในรอบปี ข้อสันนิษฐานนี้มักพบในพื้นที่ที่มีการผลิตส้ม 3 ถึง 4 รุ่นในต้นเดียวกัน สาเหตุจากการที่ผลส้มได้รับธาตุโพแทสเซียมปริมาณสูงขณะที่ผลยังอ่อน ส่งผลให้น้ำเข้าสู่ผลส้มในปริมาณมากและผลไม่สามารถคายน้ำออกได้ทัน ผลส้มจึงแตกในที่สุด (เปรมปรี, 2538)

2.5.4 อาการแดดเผา (Sun burn)

อาการนี้สามารถพบได้ในใบ ดอก ผล กิ่ง หรือ ต้น โดยเกิดกับส่วนของต้นส้มด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งหันเข้าหาดวงอาทิตย์ในช่วงบ่ายของวัน ระหว่างเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคม เนื่องจากดวงอาทิตย์โคจรผ่านลงไปยังซีกโลกใต้ ผลส้มที่เกิดอาการนี้จะมีลักษณะเป็นวงสีเหลืองที่ผิว หากเป็นรุนแรงจะทำให้ภายในผลตรงบริเวณแดดเผาเกิดการแห้งได้

2.5.5 อาการผิวลายจากลม (Wind scar)

อาการผิวลายจากลมเกิดจากลมพัดให้ผลส้มเสียดสีกับใบหรือกิ่งก้านของต้นส้ม พบในพื้นที่เพาะปลูกภาคกลางซึ่งมีลักษณะเป็นที่ราบลุ่มและมีลมพัดผ่านตลอดเวลา อาการที่เกิดขึ้นแม้ไม่ส่งผลต่อคุณภาพด้านรสชาติ แต่ทำให้ผลส้มสูญเสียลักษณะปรากฏที่ดีไป ราคาของผลิตผลจึงต่ำลง

2.6 การตรวจสอบคุณภาพผลิตผล

ผลิตผลส้มที่ได้รับการเก็บเกี่ยวมาแล้วมีมากมายหลายลักษณะ ทั้งที่มีขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ทั้งที่มีตำหนิและปราศจากตำหนิ ทั้งที่ผลปกติและผิดปกติ หลากหลายคละกันไป ดังนั้นเพื่อให้สะดวกต่อการจัดผลิตผลให้เหมาะสมสำหรับการบรรจุและการขนส่งตามคุณภาพของผลิตผล ลดการสูญเสียคุณภาพในขณะขนส่ง อีกทั้งเป็นการเพิ่มคุณภาพของผลิตผลและการเพิ่มผลตอบแทน จึงอยู่ที่การคัดแยกผลิตผลออกตามระดับคุณภาพ โดยต้องมีเกณฑ์สำหรับการคัด และมีการพิจารณาในหลายๆ ลักษณะประกอบกัน เช่น การคัดคุณภาพตามสี ตามขนาด หรือตามความผิดปกติที่ปรากฏ (จริงแท้, 2538) แต่หากความผิดปกติเกิดขึ้นภายในผล เช่น อาการฟ่าม หรือ อาการพอง การตรวจสอบจากภายนอกอาจทำได้ยาก ฉะนั้นการคัดเลือกจะต้องใช้เทคนิคที่ใช้คุณสมบัติทางกายภาพที่มีความสัมพันธ์ และ สามารถใช้ตรวจสอบอาการผิดปกตินั้นได้ โดยที่องค์ประกอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณภาพของผลิตผลสามารถแยกได้สองลักษณะคือ ลักษณะภายนอก (External characteristic) เช่น รูปร่าง ขนาด สีสรร หรือ ความเป็นมันเงา เป็นต้น ส่วนลักษณะภายใน (Internal characteristic) เช่น ปริมาณน้ำคั้น รสชาติ หรือ อาการผิดปกติภายในผล เป็นต้น (สวัสดิ์, 2507)

วิธีการตรวจสอบคุณภาพผลส้มหลังการเก็บเกี่ยวสามารถทำได้สองแบบคือ แบบจิตวิสัย (Subjective) และแบบวัตถุวิสัย (Objective) การตรวจสอบแบบจิตวิสัยเป็นการประเมินคุณภาพด้วยตา มือสัมผัส หรือด้วยการชิม ซึ่งการตรวจสอบแบบนี้อาจเกิดความผิดพลาดได้ง่าย โดยเฉพาะเมื่อผลิตผลที่ต้องได้รับการตรวจสอบมีปริมาณมาก (Bryan *et al.*, 1980) เพราะประสาทการรับรู้ทั้งทางตา ปาก และมือสัมผัสในแต่ละเวลาไม่เท่ากัน อีกทั้งความสามารถของประสาทการรับรู้เหล่านี้จะลดลงเมื่อมีการใช้งานติดต่อกันเป็นเวลานาน เนื่องจากความเมื่อยล้า อย่างไรก็ตามผู้ที่มีประสบการณ์สูงอาจมีความชำนาญในการตรวจสอบคุณภาพได้ค่อนข้างแม่นยำ ส่วนการตรวจสอบแบบวัตถุวิสัยเป็นการวัดคุณภาพโดยอาศัยเกณฑ์ที่วัดออกมาเป็นตัวเลขโดยใช้เครื่องมือเข้าช่วย เช่น การชั่งน้ำหนัก การวัดขนาด หรือการวัดปริมาณกรด วิธีการตรวจสอบแบบวัตถุพิสัยนี้สามารถตรวจสอบคุณภาพได้เที่ยงตรงและมีความผิดพลาดน้อย สำหรับส้มที่มีอาการพองจะถูกตรวจสอบและคัดแยกออกจากผลปกติด้วยแรงงานคนเป็นหลักซึ่งการคัดแยกด้วยวิธีนี้มีข้อจำกัดคือ การที่สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ และมีคุณภาพสม่ำเสมออย่างต่อเนื่องในระยะเวลานานเป็นสิ่งที่ทำได้ยากเนื่องจากผลส้มที่เข้าสู่โรงคัดบรรจุมีปริมาณมากในแต่ละฤดูการผลิต เมื่อพิจารณาถึงทางออกในการแก้ปัญหานั้นจึงควรศึกษาคุณสมบัติที่สามารถตรวจวัดได้เชิงวัตถุวิสัย ที่มีความสัมพันธ์กับความผิดปกติที่เกิดขึ้น เพื่อนำไปสู่การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมและมีความแม่นยำสำหรับการพัฒนาและปรับปรุงอุปกรณ์ที่ใช้คัดแยกคุณภาพผลิตผลทางการเกษตร (ธงชัย และคณะ, 2542 ง)

ในการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ (Physical property) ที่เหมาะสมของผลิตผลส้มสำหรับเป็นแนวทางเพื่อนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการตรวจสอบและคัดแยกผลส้มที่มีอาการผิดปกติภายในผลได้ในระดับปฏิบัติการด้วยการใช้คุณสมบัติทางฟิสิกส์แบบต่างๆ เช่น การตรวจวัดคุณภาพของผลส้มฟ่ามและส้มพองด้วยค่าความถ่วงจำเพาะ (ธงชัย และคณะ, 2542 ข) การตรวจสอบอาการฟ่ามของส้มพันธุ์ฟรีมองต์โดยใช้เทคนิคเอกซเรย์ (จริญญา, 2542) การตรวจสอบอาการฟ่ามของส้มเขียวหวานโดยใช้วิธีการส่องผ่านของแสง (วชิราพร, 2543) การประเมินความฟ่ามของส้มเขียวหวานพันธุ์ฟรีมองต์ด้วยคุณสมบัติทางไฟฟ้า (ประภาพร, 2543) การปะเมินคุณภาพภายในของส้มเขียวหวานด้วยเทคนิค X-ray Computed Tomography (X-ray CT) และเทคนิค Near Magnetic Resonance (NMR) (Yantarasri and Sornsrivichai, 1998) การศึกษาดังกล่าวเป็นไปเพื่อการพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพโดยไม่ทำลายผลิตผล (Nondestructive testing) ซึ่งจะนำไปสู่การ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ประยุกต์เพื่อพัฒนาเครื่องมือตรวจสอบคุณภาพผลส้มสำหรับใช้เชิงพาณิชย์ในอนาคต (ธงชัย และคณะ, 2542 ง)

2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอาการผิดปกติภายในผลิตผลเกษตรกับค่าความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะคืออัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของผลไม้ต่อความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน ความถ่วงจำเพาะเป็นคุณสมบัติทางกายภาพ (Physical property) อย่างหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพภายในของผลิตผลเกษตร ในพืชแต่ละชนิดนั้นมีปัจจัยต่างๆ ที่สัมพันธ์กับค่าความถ่วงจำเพาะเช่น ปริมาณสารละลายที่มีอยู่ในเซลล์ ปริมาณแป้ง ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ ความหนาและส่วนประกอบของเซลล์ ขนาดช่องว่างระหว่างเซลล์ หรือปริมาณของโพรงอากาศที่มีอยู่ภายในส่วนต่างๆ ของพืชนั้นๆ เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนไปตามคุณภาพของผักและผลไม้ เช่น หัวแครอทพันธุ์ Red Cored Chanteney ที่มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งสูงมีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่าหัวที่มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งต่ำ โดยมีค่าเท่ากับ 1.036 และ 1.023 ตามลำดับ (Kelly and Smith, 1944) ในมะเขือเทศพันธุ์ Roma ที่ผลแก่นั้นมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่าผลที่ยังอ่อนอยู่ โดยความถ่วงจำเพาะของผลแก่มีค่าสูงกว่า 0.92 ในขณะที่ผลอ่อนมีค่าต่ำกว่า 0.92 (Gutterman, 1972) เช่นเดียวกับผลบลูเบอร์รี่พันธุ์ Blue Crop ที่แก่แล้วนั้นความถ่วงจำเพาะมีค่าเท่ากับ 1.04 ในขณะที่ผลที่ยังอ่อนอยู่มีค่าเท่ากับ 0.97 (Wolfe *et al.,* 1974) ส่วนความถ่วงจำเพาะของผลแอปเปิลพันธุ์ Red Delicious ที่มีความผิดปกติทางสรีรวิทยาที่เรียกว่าอาการ Watercore นั้นมีค่าตั้งแต่ 0.925 ขึ้นไป ในขณะที่ความถ่วงจำเพาะของผลปกติมีค่าไม่เกิน 0.875 (Hung *et al*., 1989) จากการศึกษาในผลสับปะรดพันธุ์นางแล Sornsrivichai *et al.* (2000) พบว่า ค่าความถ่วงจำเพาะแสดงถึงคุณภาพของเนื้อสัมผัส กล่าวคือผลสับปะรดที่เป็นเนื้อหนึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่าผลที่เป็นเนื้อสอง โดยมีค่าเท่ากับ 1.025 และ 0.975 ตามลำดับ Shantha (1980) รายงานว่าผลมะม่วงพันธุ์ Alphonso ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่า 1.02 เมื่อสุกแล้ว จะมีรสชาติดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคแต่จะมีอาการ Internal breakdown ภายในเนื้อมากกว่ากลุ่มที่มีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 ซึ่งเป็นกลุ่มที่เมื่อสุกแล้วรสชาติจะไม่ดี สำหรับมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่มีอายุมากขึ้นจะมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงขึ้นเพราะมีการสะสมอาหารมากขึ้น เมื่อแก่เต็มที่จะมีค่าความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 1.02-1.04 จึงสามารถใช้วิธีการลอยน้ำเพื่อคัดเลือกผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามอายุได้โดยผลที่ลอยน้ำมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 หากปล่อยให้สุกจะมีน้ำหนักแห้งน้อย ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำ มีปริมาณกรดสูง รสชาติไม่ดีและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ส่วนผลที่จมน้ำซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่า 1 เมื่อปล่อยให้สุกจะมีคุณภาพและรสชาติดีเป็นที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ยอมรับของผู้บริโภคเพราะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงและมีปริมาณกรดต่ำ (จริงแท้, 2538) จากการตรวจสอบค่าความถ่วงจำเพาะของผลมะม่วงพันธุ์แรดที่มีความแก่ต่างกัน (ธงชัย และคณะ, 2542 ข) พบว่า ผลมะม่วงที่มีความแก่ 100% ซึ่งสุกภายใน 2 วัน มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.024 และมีค่าสูงกว่าผลมะม่วงที่มีความแก่ 95, 85, และ 80% ที่สุกภายใน 7, 10, และ 12 วัน ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.998, 1.001 และ 0.997 ตามลำดับ รังสินันท์ (2541) รายงานถึงผลมังคุดที่มีอาการผิดปกติ คือ อาการยางไหล, เนื้อแก้วเล็กน้อย, เนื้อแก้วปานกลาง, เนื้อแก้วร่วมกับยางไหล, และเนื้อแก้วรุนแรง มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.005, 1.017, 1.023, 1.029 และ 1.039 ตามลำดับ โดยมีค่าสูงกว่าค่าความถ่วงจำเพาะของผลมังคุดปกติ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.002 สำหรับการศึกษาในผลทุเรียน (ธงชัย, 2545) พบว่า ผลทุเรียนแก่ที่สามารถเก็บเกี่ยวเพื่อจำหน่ายได้มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.84 ถึง 0.89 ในขณะที่ผลทุเรียนอ่อนซึ่งรสชาติไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่าโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.90 ถึง 0.93

2.8 ทฤษฎีกลศาสตร์ของไหลที่เกี่ยวข้องกับการคัดผลส้มโดยใช้ความหนาแน่นของน้ำ

2.8.1 หลักการของเครื่องคัดผลส้มพองโดยการปรับค่าความหนาแน่นของน้ำ

เครื่องคัดผลส้มพองโดยอาศัยการปรับค่าความหนาแน่นของน้ำมีหลักการ คือ เติมฟองอากาศขนาดเล็กๆ เข้าไปผสมเพื่อทำให้ความหนาแน่นของน้ำลดลง (น้ำมีความหนาแน่นเท่ากับ 1000 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ที่ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส) จนมีค่าเหมาะสมในการคัด ซึ่งโดยทั่วไปทั้งผลส้มพองและผลส้มปกติจะมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า 1 (ความถ่วงจำเพาะผลส้มหมายถึง อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของผลส้มพองต่อความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ และความดันมาตรฐาน) เมื่อน้ำถูกเติมด้วยฟองอากาศเล็กๆ จนกระทั่งมีความถ่วงจำเพาะที่เหมาะสม และน้อยกว่า 1 แล้ว ผลส้มปกติที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำที่ถูกเติมด้วยฟองอากาศแต่น้อยกว่า 1 ก็จะจมลงไปยังส่วนล่างของเครื่องคัดและไหลเข้าไปยังช่องคัดผลจม ในขณะที่ผลส้มพองและผลที่มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับหรือน้อยกว่าความถ่วงจำเพาะของน้ำที่ถูกเติมด้วยฟองอากาศจะลอยและไหลไปพร้อมกับน้ำสู่ช่องคัดผลลอย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

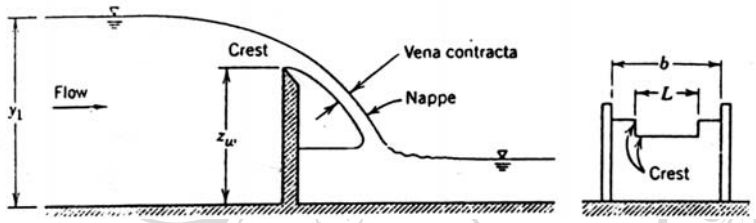
2.8.2 ทฤษฎีฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

เมื่อน้ำในถังไหลผ่านฝาย (รูป 2.2) จะเกิดการลดขนาดของหน้าตัดที่มีวีนาคอนแทรกตา (Vena contracta) เช่นเดียวกับกรณีที่น้ำไหลผ่านออริฟิช (Orifice) ขณะเดียวกันที่ขอบของฝาย

จะมีแรงต้านเนื่องจากความเสียดทานด้วย เป็นเหตุให้ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านฝายออกมาจริงๆ มีปริมาณน้อยกว่าค่าที่ได้ตามทฤษฎี (Ramamruthum, 1982)

พื้นที่หน้าตัดของไหลผ่านฝาย จะเป็นสัดส่วนกับค่าแต่งของ $y_1 - Z_w$

$$A \propto bL(y_1 - Z_w)$$



รูป 2.2 ฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

จากสมการเบอร์นูลลี (Bernoulli equation) สามารถหาความเร็วโดยประมาณของกระแสน้ำได้ มีค่าเท่ากับ

$$V = \sqrt{2g(y_1 - z_w)} \propto \sqrt{g(y_1 - z_w)}$$

จาก $Q = VA$

ซึ่ง $Q \propto C_d L\sqrt{g}(y_1 - z_w)^{\frac{3}{2}}$

และ C_d = ค่าสัมประสิทธิ์แห่งการไหล

จะได้ว่า $$Q = C_d L\sqrt{g}(y_1 - z_w)^{\frac{3}{2}} \quad (2.1)$$

โดย $$C_d = 0.59 + 0.08\left[\frac{y_1}{z_w} - 1\right]$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อ Q = อัตราการไหลของน้ำ (ลูกบาศก์เมตร/นาที)

C_d = ค่าสัมประสิทธิ์แห่งการไหล

L = ความกว้างของฝาย (เมตร)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตร/วินาที^{2})

y_1 = ระยะจากพื้นถึงผิวน้ำ (เมตร)

z_w = ระยะจากพื้นถึงระดับฝาย (เมตร)

2.8.3 ทฤษฎีแรงที่กระทำกับวัตถุเมื่อวัตถุจมอยู่ในของเหลว

1) แรงต้าน (Drag force)

แรงต้านเป็นแรงที่กระทำกับวัตถุที่จมอยู่ในของไหลโดยมีทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งในกรณีของวัตถุทรงกลมจะเกิดแรงต้านเนื่องจากแรงเฉือน และแรงดัน มีค่าดังนี้

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho A V^2 \qquad (2.2)$$

เมื่อ F_D = แรงต้าน (นิวตัน)

C_D = สัมประสิทธิ์แรงต้าน

ρ = ความหนาแน่นของของไหล (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

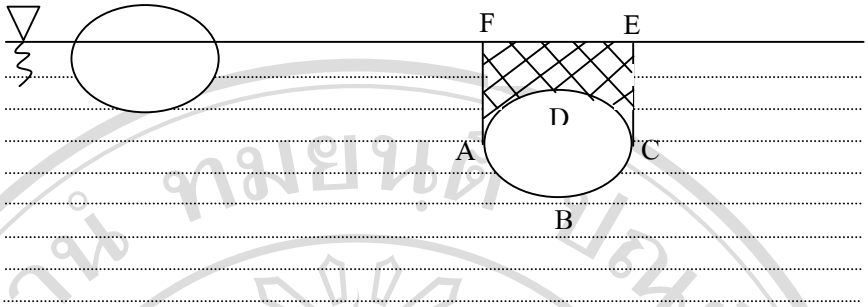
A = พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ (ตารางเมตร)

V = ความเร็วของวัตถุ (เมตร/วินาที)

2) แรงลอยตัว (Buoyancy force)

แรงที่กระทำต่อวัตถุไม่ว่าเทหวัตถุจะจมหรือลอยในของไหลสถิตเรียกว่าแรงลอยตัว (Buoyancy force) แรงลอยตัวจะกระทำในแนวดิ่งเสมอ เนื่องจากแรงในแนวระดับที่กระทำต่อเทหวัตถุจะจมหรือลอยในของไหลก็ตามเมื่อรวมแล้วจะเป็นศูนย์ ทั้งนี้เพราะพื้นที่ส่วนที่เทหวัตถุในแนวดิ่งจะหักล้างกันหมด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.3 เทหวัตถุลอยตัวในของเหลว
ที่มา: สมาน และ มนตรี (2521)

พิจารณาแรงลอยตัวที่กระทำต่อเทหวัตถุในของไหล แรงลอยตัวคือ ผลต่างระหว่างแรงดันที่กระทำต่อส่วนล่าง และส่วนบนของเทหวัตถุ (รูป 2.3) แรงดันขึ้นจากผิวล่างเท่ากับ น้ำหนักของไหลที่อยู่เหนือผิว ABC หรือน้ำหนักของไหล ภายในปริมาตร ABCEFA ส่วนแรงกดลงทางผิวบน จะเท่ากับน้ำหนักของไหลปริมาตร ADCEFA ผลต่างระหว่างแรงทั้งสอง คือแรงเนื่องจากน้ำหนักของไหลปริมาตร ABCD ที่ถูกแทนที่โดยของแข็ง ดังนั้นจะเห็นได้ว่า

$$F_B = m_f g \tag{2.3}$$

เมื่อ F_B = แรงลอยตัว (นิวตัน)

m_f = มวลของของไหลที่มีปริมาตรเท่ากับวัตถุส่วนที่จมในของไหล (กิโลกรัม)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตร/วินาที^{2})

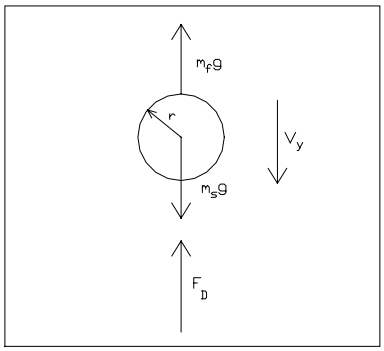
2.8.4 การคำนวณการเคลื่อนที่ของผลส้มพองเมื่อจมอยู่ในของเหลว

ลักษณะการเคลื่อนที่ของส้มพองเมื่อจมอยู่ในของเหลว แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การเคลื่อนที่ของส้มพองในแนวดิ่ง และการเคลื่อนที่ของส้มพองในแนวระดับ ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

1) การเคลื่อนที่ของส้มพองในแนวดิ่ง

จากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน เมื่อพิจารณารูป 2.4



รูป 2.4 Free-body diagram ของส้มพองที่จมอยู่ในของเหลวในแนวดิ่ง

ผลรวมของแรงภายนอก = ผลคูณของมวลและอัตราความเร่ง

$$m_s g - F_B - F_D = m_s \frac{dV_y}{dt}$$

โดย F_D คือ แรงต้าน (Drag force)

จะได้ว่า $$m_s g - m_f g - \frac{1}{2} C_D A \rho_f V_y^2 = m_s \frac{dV_y}{dt}$$

หรือ $$g\left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_s}\right) - \frac{1}{2m_s} C_D A \rho_f V_y^2 = \frac{dV_y}{dt} \qquad (2.4)$$

และถ้ากำหนดให้ $b = g(1 - \frac{\rho_f}{\rho_s})$ และ $a^2 = \frac{C_D A \rho_f}{2 m_s b}$

จากสมการ 2.4 จะได้ว่า

$$b\left(1 - a^2 V_y^2\right) = \frac{dV_y}{dt}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

หาอนุพันธ์สมการข้างต้น

$$b\int_0^t dt = \int_0^{V_y} \frac{dV_y^{\,2}}{1 - a^2 V_y^{\,2}}$$

$$V_y = \frac{1}{a}\tanh(abt)$$

แต่อนุพันธ์ของระยะทางมีค่าเท่ากับเวลา

โดย $$V_y = \frac{dS_y}{dt}$$

เมื่อ S_y คือ ระยะการเคลื่อนที่ของส้มในแนวดิ่ง

ดังนั้น $$\frac{dS_y}{dt} = \frac{1}{a}\tanh(abt)$$

หาอนุพันธ์ของสมการข้างต้น

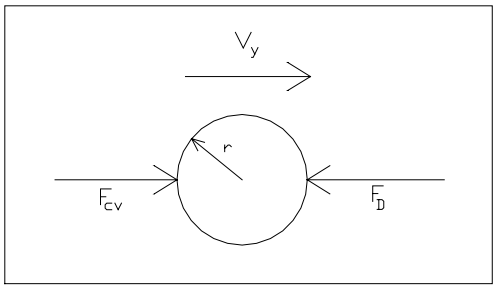
$$\int_0^{S_y} dS_y = \int_0^t \frac{1}{a(ab)}\tanh(abt)ab\,dt$$

$$S_y = \frac{1}{a^2 b}\ln\cosh(abt) \qquad (2.5)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2) การเคลื่อนที่ของส้มพองในแนวระดับ

จากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน เมื่อพิจารณารูป 2.5



รูป 2.5 Free-body diagram ของส้มพองที่จมอยู่ในของเหลวในแนวระดับ

ผลรวมของแรงภายนอก = ผลคูณของมวลและอัตราเร่ง

$$F_{CV} - F_D = m_s \frac{dV_x}{dt}$$

โดย F_{CV} คือแรงเนื่องจากโมเมนตัม

ซึ่ง $$F_{CV} = \rho_f A V_f^2$$

จะได้ว่า $$\rho_f A V_f^2 - \frac{1}{2} C_D A \rho_f V_X^2 = m_s \frac{dV_x}{dt}$$

หรือ $$\frac{1}{m_s} \rho_f A V_f^2 - \frac{1}{2m_s} C_D \rho_f A V_x^2 = \frac{dV_x}{dt} \qquad (2.6)$$

และถ้ากำหนดให้ $n = \frac{1}{m_s} \rho_f A V_f^2$ และ $m^2 = \frac{1}{2m_s n} C_D A \rho_f$

จากสมการ 2.6 จะได้ว่า

$$n\left(1 - m^2 V_x^2\right) = \frac{dV_x}{dt}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ในทำนองเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของส้มพองในแนวระดับ จะได้ว่า

$$S_x = \frac{1}{m^2 n} \ln \cosh(mnt) \qquad (2.7)$$

โดย S_x คือ ระยะการเคลื่อนที่ของส้มพองในแนวระดับ

จากสมการ 2.5 และ 2.7 ทำให้ทราบลักษณะของส้มพองเมื่อเคลื่อนที่อยู่ในของเหลวได้ ซึ่งจะมีผลต่อการจัดวางตำแหน่งของแผ่นคัดแยกผลส้มที่จมและที่ลอยในช่วงที่มีการคัดได้อย่างเหมาะสม

2.9 การประยุกต์ใช้ค่าความถ่วงจำเพาะกับการคัดแยกผลิตผลเกษตร

ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) และ ความหนาแน่น (Density) เป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบและคัดแยกคุณภาพของผลิตผลเกษตรได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก ไม่ซับซ้อน และมีราคาถูก (Kelly and Smith, 1944) ถ้าหากทราบความถ่วงจำเพาะของผลิตผลนั้นๆ ว่ามีความแตกต่างจากสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ต้องการเพียงพอก็สามารถนำมาใช้คัดแยกสิ่งแปลกปลอมได้ด้วยวิธีที่ง่าย เช่น การจม-ลอยในน้ำหรือสารละลายตัวกลางที่ทราบค่าความถ่วงจำเพาะแน่นอน หรืออาจปรับปรุงวิธีการในการคัดแยก เช่นการปล่อยให้ผลไม้ตกลงในน้ำไหลผลที่มีความถ่วงจำเพาะต่างกันจะลอยแยกห่างกันออกไป วิธีนี้สามารถนำไปใช้ในการคัดแยกผลิตผลที่มีค่าความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกันให้ออกจากกันได้ชัดเจนมากขึ้น (Mohsenin, 1986) ดังเอกสารสิทธิบัตรที่ระบุถึงการใช้วิธีการหรือการคิดค้นเครื่องมือสำหรับการคัดแยกผลิตผลชนิดต่างๆ ออกจากสิ่งไม่พึงประสงค์ด้วยการลอย-จมในน้ำหรือสารละลายตัวกลางเช่น เครื่องคัดแยกเศษหินที่ปนมากับหัวมันฝรั่ง (Klintworth and Klintworth, 1997) การคัดแยกที่อาศัยการไหลของน้ำ เช่น เครื่องคัดแยกผลส้มที่มีเปลือกหนาให้ออกจากผลที่มีเปลือกบาง (Belk, 1962) เครื่องคัดแยกผลมะเขือเทศตามระดับความสุก (Gutterman, 1972) เครื่องคัดแยกผลบลูเบอรี่ตามระดับความสุก (Patzlaff, 1981) เนื่องจากทั้งผลมะเขือเทศและบลูเบอรี่ที่ระดับความสุกเพิ่มขึ้น ค่าความถ่วงจำเพาะของผลก็จะเพิ่มขึ้น การคัดแยกที่อาศัยการไหลของน้ำร่วมกับการผสมฟองอากาศเพื่อปรับลดค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำ เช่น เครื่องคัดแยกผลมะกอกที่มีอาการผิดปกติภายในออกจากผลปกติ (Meylor and Finn, 1994) วิธีการนี้ทำให้การคัดแยกผลิตผลที่มีค่าความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกันสามารถแยกออก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากกันได้อย่างชัดเจน กรณีรายงานการการศึกษาและวิจัยการคัดแยกผลิตผลทางการเกษตรโดยใช้หลักของความถ่วงจำเพาะ เช่น Grierson and Hayward (1959) ศึกษาพบว่าผลส้มที่มีอาการ Freezing Injury มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าผลปกติ แต่เนื่องจากผลส้มทั้ง 2 กลุ่มมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า 1 ทำให้ไม่สามารถใช้วิธีการจม–ลอยได้ ฉะนั้นจึงต้องใช้ Emulsion (ส่วนผสมของน้ำกับน้ำมัน) โดยค่าความถ่วงจำเพาะที่เหมาะสมในการคัดแยกอยู่ในช่วง 0.903 ถึง 0.935 ซึ่งส้มที่มีอาการฟ่ามเพียงเล็กน้อยกับส้มที่มีอาการฟ่ามรุนแรงต้องใช้ค่าความถ่วงจำเพาะที่เหมาะสมในการคัดแยกที่ต่างกันและถ้าหากมีการคัดขนาดส้มผลเล็กกับผลใหญ่ออกจากกันก่อนการคัดแยกจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดแยกให้สูงขึ้น Porritt *et al.* (1963) รายงานถึงการใช้น้ำผสม Ethyl, Methyl หรือ Isopropyl alcohol ให้มีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.87 และนำมาใช้คัดแยกผลแอปเปิลในเชิงการค้า พบว่า สามารถคัดแยกผลปกติออกจากผลที่มีอาการ Watercore ได้ 78% แต่การควบคุมค่าความถ่วงจำเพาะให้คงที่นั้นทำได้ยาก จากการศึกษาของ Cavalieri *et al.* (1998) ซึ่งทดลองคัดแยกผลแอปเปิลผิดปกติที่มีอาการ Watercore ออกจากผลปกติด้วยต้นแบบเครื่องคัดแยกโดยใช้น้ำเติมฟองอากาศเพื่อลดค่าความถ่วงจำเพาะให้ต่ำกว่า 1 ผลการทดลองพบว่า ผลแอปเปิลที่มีค่าความถ่วงจำเพาะระหว่าง 0.88 และ 0.90 ซึ่งเป็นผลที่ผิดปกติ ถูกคัดออกจากผลที่มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าซึ่งเป็นผลปกติ ด้วยความถูกต้อง 80 ถึง 90% Pankasemsuk *et al.* (1996) ได้ทดลองคัดแยกคุณภาพมังคุดโดยวิธีจม-ลอยในน้ำปกติซึ่งมีผลมังคุดที่ลอยน้ำ 66.5% ของมังคุดทั้งหมด พบว่าสามารถคัดผลปกติมาได้ 87.9 % ของผลปกติทั้งหมด และคัดผลที่เป็นเนื้อแก้วออกไปได้ 80.2% ของผลที่เป็นเนื้อแก้วทั้งหมด การคัดแยกนี้มีความแม่นยำ 90.7% Limpitipanich *et al.* (1998) ได้ทดสอบการคัดผลส้มโดยควบคุมความถ่วงจำเพาะของน้ำและพบว่าวิธีนี้สามารถคัดแยกส้มปกติซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่า 0.90 ออกจากส้มฟ่ามได้อย่างแม่นยำและสามารถคัดแยกส้มได้มากกว่า 300 กิโลกรัม/ชั่วโมง ในการทดลองการคัดผลมังคุดปกติให้ออกจากผลมังคุดผิดปกติที่มีลักษณะเนื้อแก้วเล็กน้อย เนื้อแก้วปานกลาง เนื้อแก้วรุนแรง ยางไหล และเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล โดยใช้น้ำผสมเกลือร่วมกับการเติมฟองอากาศ (ธงชัย และคณะ, 2542 ข) พบว่า ที่ค่าความถ่วงจำเพาะของการคัดแยก 0.98 ความเร็วในการป้อนผล 5,400 ผล/ชั่วโมง เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการคัดแยก ซึ่งมีความถูกต้องในกลุ่มผลที่คัดจำหน่ายเท่ากับ 61% และมีความผิดพลาดในกลุ่มผลที่คัดทิ้งเท่ากับ 35% สำหรับการทดลองการคัดแยกผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่มีความแก่ต่างกันด้วยเครื่องคัดแยกผลไม้โดยใช้ความหนาแน่นของน้ำ (ธงชัย และคณะ, 2542 ค) พบว่า ที่ค่าความถ่วงจำเพาะของการคัดแยกเท่ากับ 0.96 เป็นจุดที่เครื่องคัดแยกผลไม้โดยใช้ความหนาแน่นของสามารถคัดแยกผลมะม่วงที่มีความแก่ต่างกันได้ดีที่สุดโดยมีเปอร์เซ็นต์การคัดแยกเท่ากับ 83% ส่วนการคัดแยกผลส้มพันธุ์ฟรีมองต์ที่ฟ่ามออกจากผลส้มปกติโดยใช้ความหนาแน่นของน้ำ (ธงชัย และคณะ,

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2543) ที่ค่าความถ่วงจำเพาะ 0.74 ความเร็วในการป้อนผล 4,400 ผล/ชั่วโมง อัตราการไหลของน้ำ 980 ลิตร/นาที ได้ประสิทธิภาพของการคัดแยกตามวิธีการประเมินของ Peleg (1985) เท่ากับ 78% และในการคัดคุณภาพของผลทุเรียนด้วยเครื่องคัดผลทุเรียนโดยใช้ความหนาแน่นของน้ำ ธงชัย (2545) พบว่า เครื่องคัดสามารถคัดแยกผลทุเรียนที่อ่อนออกจากผลที่แก่ได้ โดยมีค่าประสิทธิภาพการคัดสูงสุดเท่ากับ 76% ที่ค่าความถ่วงจำเพาะของการคัดแยก 0.84

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved